

# Implementación de la metodología de instrucción por pares en un curso de cálculo

MILLER, NORMA<sup>1</sup>

Panamá

---

## Ponencia

Este trabajo documenta la utilización por primera vez en la Universidad Tecnológica de Panamá, de la metodología de instrucción por pares para afianzar el aprendizaje conceptual del cálculo. Durante las sesiones los alumnos analizaron y discutieron preguntas conceptuales, y capturaron sus respuestas mediante un sistema de votación inalámbrico (clickers). Los resultados de las encuestas aplicadas a los estudiantes al iniciar y finalizar el curso sugieren que la discusión entre pares ayuda a aclarar sus dudas y corregir ideas previas erradas. La metodología resultó sumamente motivadora para los estudiantes, y los animó a participar más en clase y a hacer más uso de su libro de texto, incluso para leer teoría. Como beneficio adicional, dos tercios de los estudiantes reportó que aumentó su interés por las matemáticas a raíz de haber tomado este curso.

**Palabras clave:** Cálculo, clickers, entendimiento conceptual, instrucción por pares.

## A. Introducción

En la Universidad Tecnológica de Panamá, como en muchas otras, un alto porcentaje de estudiantes desaprobaban año tras año la asignatura de Cálculo. Aunque son múltiples los factores, la falta de entendimiento de los conceptos fundamentales, incluso por aquellos estudiantes que obtienen notas de A y B, ha motivado la exploración del impacto de diferentes recursos y estrategias pedagógicas. Una de ellas, y sobre la cual versa este trabajo, es la instrucción por pares (peer instruction, en inglés).

### ○ Antecedentes de la instrucción por pares

En el campo de la física, el desarrollo y aplicación del "Inventario de Conceptos de Fuerza" (ICF) (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992), una prueba que mide el entendimiento de los conceptos básicos sobre fuerza y movimiento que poseen los estudiantes, vino a poner de manifiesto el hecho de que, bajo un esquema convencional de enseñanza - donde el docente es protagonista, y los estudiantes una audiencia básicamente pasiva - se observan pocos cambios en el entendimiento conceptual del estudiante al pasar por los cursos, incluso en aquellos estudiantes que sacan notas altas (Halloun & Hestenes, 1985). El conjunto de ideas previas, muchas de ellas erróneas, con las que llegan los alumnos, se mantienen a pesar de la instrucción.

El beneficio que un estudiante obtiene de un curso se puede medir con la ganancia, una cantidad sin unidades que mide la mejora lograda respecto a la mejora posible, que se calcula mediante la fórmula  $G = \frac{Prom.Pos - Prom.Pre}{100\% - Prom.Pre}$ .

---

<sup>1</sup>UTP, Panamá.

En física, los estudios han mostrado que la ganancia promedio con metodologías de enseñanza convencionales es de 0.25, independientemente del estilo particular de enseñanza del docente (Hake, 1998). Este resultado se atribuye en gran parte al énfasis puesto en enseñar estrategias de resolución de problemas, en detrimento de una comprensión sólida de los conceptos subyacentes. Esta forma de enseñar basada en procedimientos huérfanos de sustento conceptual, redundante además, en una atención dispersa y pocas oportunidades para pensar de forma crítica sobre los argumentos presentados. En cambio, el uso de estrategias de involucramiento interactivo, donde el estudiante tiene un mayor protagonismo en las clases, ha resultado en ganancias de entre 0.41-0.60 (Mazur, 1997). Una de las estrategias de involucramiento interactivo más exitosas ha sido la instrucción por pares que se describe a continuación.

### ○ Instrucción por pares, ¿qué es?

Esta metodología toma su nombre de la interacción entre estudiantes (pares) que se genera en torno a preguntas conceptuales de opción múltiple, diseñadas para enfocar la atención sobre conceptos fundamentales de la disciplina. Al hacer esto, se propicia la reflexión cuidadosa y detallada sobre los argumentos presentados por el docente, y se proveen oportunidades para que el estudiante evalúe la comprensión que ha logrado de los conceptos estudiados, fomentando a su vez actitudes científicas como formular preguntas, y sopesar la validez de los argumentos propios y de otros (Mazur, 1997).

### ○ Los clickers

Los estudiantes pueden capturar sus respuestas a través de dispositivos transmisores ("clickers"), los cuales envían sus respuestas a un receptor USB en la computadora del docente. El software asociado recopila, procesa, y despliega las respuestas de los estudiantes. Evidentemente, el uso de sistemas de votación electrónicos, por sí solo y desprovisto del ingrediente de discusión entre pares, no acarrea ningún beneficio a nivel de aprendizaje (Judson & Sawada, 2002). Sin embargo, en combinación con el debate entre pares, ofrecen importantes ventajas, como: desplegar el resultado de la votación de manera rápida y exacta; proveer al docente realimentación inmediata sobre el grado de comprensión del grupo; propiciar la participación de todos los estudiantes, al permitirles expresar su elección desde el anonimato; y generar una base de datos para la reflexión e indagación sobre la labor docente.

### ○ Factores que inciden en el impacto de la instrucción por pares

Se ha comprobado que las prácticas evaluativas del docente inciden en el comportamiento de los estudiantes durante las sesiones de instrucción por pares (James, 2006). En situaciones de alto riesgo para el estudiante ("high-stakes"), por ejemplo, cuando el docente penaliza respuestas incorrectas, los estudiantes con mayor conocimiento del tema tienden a dominar la discusión, de modo que es menos probable que la votación refleje la diversidad de ideas presentes en el grupo (James, Barbieri, & García, 2008). Por otra parte, diferentes "culturas de aula", impuestas consciente o inconscientemente por los docentes, se reflejan en la percepción que tiene el estudiante acerca de la instrucción por pares y acerca de las prácticas intelectuales que el docente valora y fomenta (Turpen & Finkelstein, 2010).

### ○ Instrucción por pares en cálculo

El aprendizaje del cálculo adolece de problemas similares a los que aquejan al aprendizaje de la física. Esta situación, aunada al éxito logrado en la física con la instrucción por pares, ha llevado a docentes de matemáti-

cas a experimentar también con esta metodología. Sin embargo, la literatura sobre IPP en matemáticas es relativamente escasa. Miller, Santana-Vega, & Terrell, (2006) estudiaron la discusión entre pares de lo que llaman "buenas preguntas", encontrando que el beneficio del debate se correlaciona con la profundidad de razonamiento exigida por las preguntas. Reportan, así mismo, mayores beneficios para personas de minorías sub-representadas en el grupo, y mejor desempeño en exámenes convencionales. En otro estudio (Lucas, 2009) se encontró que a través de la instrucción por pares los estudiantes participan más en clase y comprenden mejor el material.

### ○ **Objetivo del presente estudio**

El objetivo general de este estudio fue el de contribuir a mejorar el aprendizaje de los conceptos de cálculo de los estudiantes. A nivel más específico interesaba: obtener experiencia de primera mano ("know-how") sobre la implementación de la instrucción por pares en la enseñanza del cálculo; evaluar la percepción de los estudiantes sobre el uso de esta metodología; y compartir los conocimientos y habilidades adquiridas en el proceso con colegas de matemáticas y otras disciplinas.

## **B. Metodología**

El estudio se realizó con estudiantes de primer año de ingeniería en el contexto de un curso de Cálculo II. Se trabajó con dos grupos, de 27 y 34 estudiantes, respectivamente. En ausencia de un instrumento análogo al ICF-existe un Inventario de Conceptos de Cálculo (Epstein, 2007), pero aún se encuentra en fase de validación-el estudio no tuvo la típica estructura de pre-prueba / intervención / pos-prueba. En su lugar se aplicó primer día de clases una encuesta anónima, en la que se pedía a los estudiantes información acerca de su nivel de interés, participación, concentración, y tiempo de dedicación en su anterior curso de matemáticas (Cálculo I), así como sus expectativas para el uso de la tecnología en la clase de Cálculo II. Una versión ampliada de este cuestionario se aplicó nuevamente al final del curso. Se analizaron adicionalmente los datos recopilados por sistema de votación.

Se planearon un total de 5 actividades de IPP de 2-hrs clase (90 minutos), y de 5 a 7 preguntas cada una. La implementación de las sesiones de IPP se apegó en gran medida al esquema de Mazur (1997), a saber:

- **Planteamiento:** Docente plante la pregunta conceptual, y se asegura de que se comprende.
- **Análisis:** Estudiantes analizan la pregunta individualmente y en silencio (2 - 3 min).
- **1ª votación:** Estudiantes capturan respuesta con clickers. Se despliegan resultados.
- **Discusión:** Estudiantes identifican a compañero cuya respuesta difiere de la propia; cada uno intenta convencer al otro de que su elección es la correcta (3-4 min).
- **2ª votación:** Estudiantes capturan su respuesta por segunda vez. Se despliegan resultados.
- **Justificación:** Docente invita a los estudiantes a explicar las opciones elegidas.
- **Explicación:** Docente interviene para aclarar dudas o malos entendidos conceptuales revelados por proceso.

Es importante señalar que se requiere que entre un tercio y la mitad del grupo haya elegido la respuesta correcta para que la metodología funcione adecuadamente. Si la pregunta resulta demasiado difícil para el grupo, lo más recomendable es proceder directamente a clarificar los errores conceptuales que mantienen los alumnos.

Quizá el aspecto más retador para el docente al implementar la instrucción por pares sea la formulación de "buenas preguntas" conceptuales. Una buena pregunta conceptual se caracteriza por 1) enfocarse en un solo concepto a la vez, 2) tener alternativas adecuadas de respuesta, y 3) no responderse mediante la aplicación de una fórmula. Existen algunas recopilaciones de preguntas que pueden ser útiles como un punto de partida (ver Good Questions Project). Para este estudio, fue necesario desarrollar preguntas adicionales.

A fin de que el estudiante tome en serio el aspecto conceptual, el docente debe incluir en sus evaluaciones preguntas conceptuales, ya que los exámenes determinan en gran medida qué y cómo se estudia, y por ende, qué y cómo se aprende. Contrario a lo que se podría pensar, las preguntas conceptuales no son más sencillas, y un buen desempeño en preguntas conceptuales, tiende a estar asociado a un buen desempeño en preguntas convencionales, pero no a la inversa (Mazur, 1997).

## C. Resultados

Los datos que se presentan a continuación se obtuvieron durante el segundo semestre del año 2011. Con el grupo 1 se completaron las 5 sesiones de IPP planificadas; con el grupo 2 sólo se pudieron realizar 4. En la tabla 1 se resume el desempeño en estas sesiones. En total se plantearon 37 preguntas, de las cuales 24 se formularon al grupo 1 y 13 al grupo 2. En la mayor parte de estas preguntas se completaron todos los pasos descritos en la sección anterior, pero en algunos casos no se llegó a la discusión de pares porque el nivel resultó demasiado elevado o demasiado bajo. En el grupo 1 hubo tres preguntas que no pasaron a la etapa de discusión, y en el grupo 2, seis.

Para el combinado de los dos grupos, el 79% de las preguntas sometidas a segunda votación registró un aumento en el número de respuestas correctas. Más aún, el promedio de estudiantes que mejoró (ponderado por el número de estudiantes en cada grupo), fue de 30%, con una DE del 27%. El alto valor de la DE en ambos grupos revela la variación en el desempeño de los estudiantes entre una pregunta y otra, lo cual es un reflejo directo del nivel de dificultad de las preguntas. Igualmente, las diferencias en porcentaje de estudiantes que mejoraron, significativamente mayor para el grupo 1 que para el grupo 2, probablemente guarda relación con las características de los estudiantes de cada grupo, ya que el grupo 1 estudia una carrera con mayor exigencia matemática, que suele atraer a estudiantes con más facilidad y mejor formación en esta disciplina.

La figura 1 muestra el cambio positivo en el entendimiento de los estudiantes producto de la discusión entre pares en uno de los grupos. Nótese que previo a la discusión la respuesta correcta ("A") no fue la más votada; solo 8 de 28 eligieron esta opción.

### ○ Consideraciones y actitudes de los estudiantes antes y después del curso

En esta sección se presentan los resultados de los cuestionarios aplicados a los estudiantes, donde expresaron sus expectativas (antes) y percepciones (después) del curso. Cabe recordar que las respuestas iniciales se basan

en su experiencia previa en el curso de Cálculo I. Con respecto al posible beneficio de usar tecnología para "hacer la clase más interesante y divertida", aumentó de 70% a 80%; para "motivar al estudiante a participar más", aumentó de 28% a 45%; y para "ayudar a aprender mejor" bajó de 65% a 53%. Los que no esperaban ningún beneficio del uso de la tecnología se mantuvo en 4%.

En cuanto a las actividades de instrucción por pares con clickers, éstos tuvieron un alto grado de aceptación entre los estudiantes: el 90% recomendaría a los docentes utilizar esta metodología para enseñar. Algunos de las razones esbozadas por alumnos son:

- Hace bien didáctica la clase, y cambia la rutina de todos los días [de] estar solo mirando al tablero y escuchar, con eso tenemos la oportunidad de que el docente sepa con mayor certeza las dudas y debilidades que tenemos.
- De esta manera se resuelven las preguntas que a veces el estudiante no se atreve a preguntar.
- Hace que las clases sean más entretenidas, menos monótonas y por supuesto el momento en el que discutimos las respuestas entre nosotros ayuda a tener un mayor dominio del tema debido que para defender o escoger la respuesta correcta se debe poder argumentar, y para saber argumentar hay que tener conocimientos del tema.
- Faltaron más sesiones de IPP Como cabría esperar, hubo también comentarios menos entusiastas como los siguientes:
- No me gustó mucho ya que a veces me enredaba más; prefiero la explicación del profesor sin hacer uso de eso.
- Yo no la elegí porque a pesar de que son sesiones que me aclaran muchas dudas no me gusta estar hablando con las personas y sentirme que me equivoco, motivo por el cual no me paro y no converso con otra persona; pero sí me ha ayudado a entender...

Dos preguntas importantes, por tratarse de elementos que otorgan autonomía al estudiante y le transfieren la responsabilidad sobre propio proceso de aprendizaje, versaban acerca de su inclinación a hacer preguntas en clase, la una, y el uso del libro de texto, la otra.

Las respuestas a la primera pregunta al final del curso contrastan de manera significativa con lo expresado al inicio. El porcentaje de estudiantes que "preguntan mucho" aumentó en de 2% a 20%; los que "preguntan de vez en cuando" disminuyó de 74% a 57%; y los que "nunca preguntan" bajó un poco de 24% a 20%. Es razonable

suponer que la mayor parte del aumento en el porcentaje de los que preguntan mucho se corresponde con la disminución de los que preguntan sólo ocasionalmente.

En cuanto al libro de texto, su uso para "practicar problemas" subió de 76% a 96%; para "leer la teoría" aumentó de 43% a 75%; y para "estudiar ejemplos resueltos" se mantuvo básicamente igual (74% versus 75%). Los que no lo utilizaron disminuyó de 4% a 0%. Cabe suponer que el incremento de 32% para estudiar teoría estaría vinculado al énfasis que se hizo en lo conceptual durante las sesiones de IPP, y que se reforzó incluyendo preguntas conceptuales en los exámenes parciales. Respecto al efecto que tuvo el curso en el interés del alumno por las matemáticas, un 63% de los estudiantes indicaron que su interés por la materia aumentó a raíz de haber tomado este curso, y más de la mitad manifestaron que éste era su curso preferido.

## D. Discusión

Los resultados descritos en la sección anterior, corroboran en gran medida lo reportado por Mazur (1997), específicamente en cuanto al aumento del porcentaje de respuestas correctas en la segunda votación, luego de que los estudiantes compararan respuestas y argumentos. La principal diferencia es que Mazur encuentra que este porcentaje aumenta en todas las preguntas planteadas, mientras que en este estudio el aumento se dio en un 79%. En el 21% restante (6 de 28 preguntas) el porcentaje de respuestas correctas de hecho disminuyó. Sin embargo, en 3 casos la disminución fue del 5% o menos, lo que equivale a 1 o 2 personas sumándose a la respuesta incorrecta en un grupo de más de 20 estudiantes.

Una crítica que se le podría formular a la estrategia de instrucción por pares es que los estudiantes realmente no cambian sus concepciones erradas, sino que simplemente optan por elegir la misma respuesta que aquellos pares considerados más entendidos en la materia. Al respecto la literatura (Ej., James, 2006; James et al., 2008) indica que las prácticas evaluativas del docente tienen un gran impacto sobre el discurso entre estudiantes y la manera en que votan. Las prácticas evaluativas de bajo riesgo o para el estudiante ("low-stakes"), favorecen mayor disensión en la discusión y mayor independencia en la votación. El docente debe procurar, por tanto, crear las condiciones para que la instrucción por pares sea una actividad de colaboración, y no de competencia; una actividad en la que predomine el esfuerzo por "hacer sentido", en vez de solo buscar la respuesta correcta. En este estudio, se le informó a los estudiantes desde el inicio (y se reiteró a lo largo del semestre) que la evaluación en las sesiones de IPP dependía únicamente de participar en la actividad, y no de elegir la respuesta correcta.

Hubiese sido deseable contar con una herramienta como el ICF de física, que aportase evidencia concreta sobre la efectividad del método. Se espera que en un futuro esté validado el Inventario de Conceptos de Cálculo (Epstein, 2007) para poder subsanar este aspecto del estudio. Aun así, las respuestas a las preguntas, y especialmente los comentarios vertidos, dan fe de la seriedad con que se tomaron las discusiones durante la implementación de la estrategia.

El hecho de que las expectativas sobre aprender mejor usando recursos tecnológicos estuviesen algo infladas inicialmente (el porcentaje bajó de 65% a 53%), puede deberse a la tendencia a pensar que el mero hecho de usar tecnología en una clase redundaría automáticamente en un mayor aprendizaje, sin atención a cómo y para qué se utiliza esa tecnología-algo que Papert ha denominado "tecnocentrismo". Una vez confrontado con determinada tecnología, sobre todo si se trata de "herramientas para pensar", el estudiante se ve obligado a realizar un esfuerzo importante; esto es particularmente cierto cuando debe desaprender ideas previas erróneas. En tal caso, puede tener la impresión de no haber aprendido tanto-a pesar de haber estado más interesado, divertido, y participativo en la clase-cuando en realidad ha sido lo contrario: éstas son justamente las condiciones bajo las cuales el aprendizaje puede volverse realmente significativo para el estudiante.

Desde el punto de vista del docente, trabajar con clickers tuvo importantes beneficios: 1) favoreció la participación de todos los estudiantes; 2) permitió al docente tener retroalimentación inmediata sobre la efectividad

de la enseñanza; 3) reveló errores de concepto y permitió corregirlos oportunamente; 4) contribuyó a un ambiente de cuestionamiento crítico y respetuoso a la diversidad de ideas planteadas; y 5) estimuló la búsqueda de argumentos válidos para la sustentación de las ideas.

## E. Conclusiones

Este trabajo documenta la primera implementación de la metodología de instrucción por pares para aprender cálculo en la Universidad Tecnológica de Panamá. Nuestros resultados indican que los alumnos perciben las discusiones contextualizadas entre pares, en un entorno de bajo riesgo, como beneficiosas para su comprensión de los conceptos teóricos del cálculo. Para constatar el impacto de manera rigurosa, en futuras iteraciones del trabajo se aplicaría el Inventario de Conceptos de Cálculo, o una prueba similar, al inicio y al final del curso. Por lo pronto, lo que no cabe duda es que la metodología resultó sumamente motivadora para los estudiantes, quienes ven en la misma la posibilidad de aprender más, aclarar sus dudas, y divertirse en el camino.

## Referencias

- [1] Epstein, J. (2007). Development and validation of the calculus concept inventory. Proc. 9th Int. Conf. on Math. Ed. in a Global Community, vol. 9, Charlotte, NC, pp. 165-170.
- [2] Good Questions Project, Cornell University. Retrieved from: <http://www.math.cornell.edu/GoodQuestions/materials.html>
- [3] Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. Am. J. Phys., 66(1), pp. 64-74.
- [4] Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. Am. J. Phys., 53(11), pp. 1043-1048.
- [5] Hestenes, D. Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher, vol. 30, pp. 141-158.
- [6] James, M. C. (2006). The effect of grading incentive on student discourse in peer instruction. Am. J. Phys., 74(8), pp. 689-691.
- [7] James, M. C., Barbieri, F. & Garcia, P. (2008). What are they talking about? Lessons learned from a study of peer instruction. Astron. Educ. Rev., 7(1), p. 37.
- [8] Judson, E. & Sawada, D. (2002). Learning from past and present: Electronic response systems in college lecture halls. J. Comput. Math. Sci. Teach., vol. 21, pp. 167-181.
- [9] Lucas, A. (2009). Using peer instruction and I-clickers to enhance student participation in calculus. Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies, vol. 19, issue 3, pp. 219-231.
- [10] Mazur, E. (1997). Peer instruction: A user's manual. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [11] Miller, R. L., Santana-Vega, E. & Terrell, M. S. (2006). Can good questions and peer discussion improve calculus instruction. Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies, vol. 16, number 3, pp. 193-203.
- [12] Turpen, C. & Finkelstein, N. D. (2010). The construction of different classroom norms during peer instruction: Students perceive differences. Phys. Rev. ST Physics Ed. Research, vol. 6, number 2, 020123.